

# MELHORAR O PROCESSO PRODUTIVO, ATRAVÉS DOS “SEIS-SIGMA” PARA ATINGIR AS ESPECIFICAÇÕES DO CONSUMIDOR: EMPRESA NUTRISOIL PORTUGAL

ACHIEVING CUSTOMER SPECIFICATIONS THROUGH PROCESS IMPROVEMENT USING SIX SIGMA: CASE STUDY OF NUTRISOIL - PORTUGAL

MEJORAR EL PROCESO PRODUCTIVO A TRAVÉS DE LOS “SEIS-SIGMA”. PARA ALCAZAR LAS ESPECIFICIDADES DEL CONSUMIDOR: EMPRESA NUTRISOL PORTUGAL.

**Amândio Pereira Baía** (baia@ipg.pt)\*, Portugal

## RESUMO:

Os limites de tolerância mostram-se determinantes na gestão de um processo produtivo pois determinam a satisfação do consumidor. O uso das ferramentas do Controlo Estatístico de Qualidade permite uma melhoria do processo e o índice cpk possibilita a sua medição.

Em especial, a adoção pelas empresas, da filosofia do Seis-Sigma tem-se mostrado determinante na redução da variação de um processo ou de um produto, permitindo satisfazer as especificações do consumidor, eliminar defeitos, reduzir os custos de operação, em suma aumentar a rentabilidade.

A empresa NutriSoil em Portugal, comercializa sacos de fertilizante e tem vindo a ter problemas na secção de enchimento devido ao excesso de peso dos sacos em relação ao aposto nas especificações. Com a implementação da filosofia dos Seis-Sigma, a NutriSoil conseguiu uma melhoria do índice cpk, com a consequente melhoria da satisfação dos consumidores, e poupanças altamente significativas nos custos o que lhe permitiu aumentar a competitividade.

**Palavras Chave:** Índice de capacidade  $c_p$  e  $c_{pk}$ , Seis-Sigma, Controlo Estatístico de Qualidade, Capacidade do Processo, Melhoria do Processo.

## ABSTRACT:

The tolerance limits are determining factors in the management of a production process for determining customer satisfaction. The use of Statistical Quality Control tools allows process improvement and  $c_{pk}$  index enables its measurement.

In particular, the adoption by businesses of the Six Sigma philosophy has proven decisive in reducing the variation of a process or product, allowing the satisfaction of the consumer's specifications, eliminates defects, reduce operating costs and increase profitability.

The company NutriSoil in Portugal sells bags of fertilizer and has been having trouble in the filling department due to overweight bags bet against the specifications. With the implementation of the Six Sigma philosophy, the NutriSoil improved the index  $c_{pk}$ , with the consequent improvement of consumer satisfaction, and significant highly cost savings enabling the company to increase competitiveness.

**Keywords:** Capacity Index  $c_p$  e  $c_{pk}$ , Six-Sigma, Statistical Quality Control, Process Capacity, Quality Improvement

## RESUMEN:

Los límites de tolerancia se muestran determinantes en la gestión de un proceso productivo pues determinan la satisfacción del consumidor. El uso de las herramientas de Control Estadístico de Calidad permite una mejora del processo y el índice  $c_{pk}$  posibilita su cuantificación.

En especial, la adopción por las empresas, de la filosofía del Seis-Sigma se ha mostrado determinante en la reducción de la variación de un proceso o de un producto, permitiendo satisfacer las especificidades del consumidor, eliminar defectos, reducir los costes de operación, en resumen aumentar la rentabilidad.

La empresa NutriSoil en Portugal, comercializa sacos de fertilizante y ha tenido problemas en la sección de llenado debido al exceso de peso de los sacos en relación a lo determinado en las especificidades. Con la implementación de la filosofía de los Seis-Sigma, NutriSoil consiguió una mejora del índice  $c_{pk}$ , con la

consecuente mejora de la satisfacción de los consumidores, y ahorros muy significativos en los costes lo que le permitió aumentar la competitividad.

**Palabras clave:** Índice de capacidad  $c_p$  y  $c_{pk}$ , Seis-Sigma, Control Estadístico de Calidad, Capacidad del Proceso, Mejora del Proceso

\*Doutoramento em Gestão pela Universidade de Coventry, England,  
Mestrado em Gestão Industrial pela Universidade de Clemson, USA,  
Licenciatura em Gestão pela Universidade da Beira Interior, Professor  
Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto  
Politécnico da Guarda.

Submitted: 26th April 2012  
Accepted: 11th November 2012

## 1. INTRODUÇÃO

As especificações ou limites de tolerância definem a diferença entre produtos aceitáveis e não aceitáveis e constituem a chave de satisfação do consumidor. Referem, de forma precisa, os requerimentos do consumidor e podem estar relacionados com um produto, um processo ou um serviço. A questão de saber se um processo é capaz de satisfazer as especificações tem sido perguntada numa grande variedade de indústrias desde o início de 1980 (Rodriguez, 1992). O enquadramento teórico para avaliar a capacidade do processo começou com o desenvolvimento do índice  $c_p$  por Juran (1974) e ainda hoje é um dos índices mais populares (Rodriguez, 1992). Relaciona a magnitude do intervalo de tolerância do processo com a sua dispersão (cf. Equação 1).

$$c_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

LSE = Limite Superior das Especificações

LIE = Limite Inferior das Especificações

$\sigma$  = Variabilidade do processo – desvio padrão do processo

O termo  $\sigma$  (*Sigma*) é uma letra do alfabeto grego usado na estatística para descrever a variabilidade de um processo que produza produtos ou serviços similares (Dedhia, 2005). Um nível de qualidade  $\sigma$  oferece um indicador da frequência de ocorrência dos defeitos onde um nível de qualidade mais elevado indica um processo com menor possibilidade de criar defeitos. Consequentemente, com o aumento do nível de qualidade sigma, a fiabilidade do produto melhora, a necessidade de inspeção e teste declina, o tempo de ciclo do produto diminui, os custos baixam e a satisfação do consumidor aumenta. A capacidade do processo é de 6 $\sigma$  quando o processo está controlado estatisticamente ou seja quando apenas existem causas normais de variação. A melhoria da qualidade é necessária antes da capacidade do processo ser determinada a fim de se estabelecerem as especificações.

A deficiência primária do índice  $c_p$  é que não fornece um indicador da localização do output do processo em relação aos limites de especificação (frequentemente chamados de *voz do consumidor*). Por outras palavras, implicitamente, este índice assume que um

processo está centrado entre o limite inferior e superior das especificações, o que nem sempre acontece.

Para superar as fraquezas do índice  $c_p$  foi Introduzido por Kan (1986), o índice  $c_{pk}$ , considerado o índice de capacidade do processo mais popular (Wu, 2008; Wu *et al*, 2009). Este índice considera de forma explícita tanto a “magnitude da variação do processo bem como o grau de centralidade do processo” (Chen et al, 2003, p.102). Este índice é definido na Equação 2.

$$c_{pk} = \text{mínimo} \left[ \left( \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \right) \text{ ou } \left( \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right) \right] \quad (2)$$

$\bar{X}$  = Média do processo

Muitos investigadores reconhecem que os índices de capacidade do processo são medidas baseadas no rendimento do processo (Boyles, 1991; Chen et al, 2003; Hsu et al, 2008; Wu et al, 2009).

Tradicionalmente, os índices de capacidade assentam em vários pressupostos: estabilidade do processo (Prasad e Bramorski, 1998; Deleryd, 1999; Hsu et al, 2008), *outputs* normalmente distribuídos (Hsu et al, 2008), ou pelo menos simétricos (Gunter, 1989) e características simples de desempenho. Muitos índices de capacidade do processo apenas são aplicáveis quando se considera uma única característica, sendo certo que quase todos os processos produtivos enquadram muitas etapas. Quando existirem etapas múltiplas no processo, Bothe (1992) sugere que o índice de capacidade do processo associado à etapa menos capaz deve ser usado para determinar a capacidade do processo como um todo. Pearn e Wu (2006) apresentam uma revisão relativamente recente da literatura respeitante à capacidade do processo com etapas múltiplas.

Também Prasad e Bramorski (1998) e Boyles (1994) constataram que para se usar de forma eficiente os índices de capacidade, a variabilidade do processo para cada uma das amostras deve ser idêntica e distribuída de forma idêntica. Controlar e melhorar de forma contínua o processo é uma questão crucial no melhoramento da capacidade das organizações (Stewart e Spencer, 2006).

Os índices de capacidade do processo continuam a ser usados como ferramentas do processo muito embora exista “um reconhecimento crescente de que estas ferramentas são limitadas e, em particular, os índices de capacidade sandardes são apropriados apenas com medições que sejam independentes e distribuídos de uma

forma razoavelmente normal” (Rodriguez, 1992, p176). A popularidade dos índices de capacidade do processo, assente no entendimento comum de que em muitos casos estes índices são ferramentas imperfeitas, conduziu a uma contínua investigação nesta área. Um sumário recente do estado da teoria e da prática é apresentado por Wu et al (2009).

Os índices da capacidade do processo são medições que relacionam a atual dispersão do *output* de um processo com os limites das especificações. Estes índices permitem a comparação entre uma completa gama de processos, indústrias e países (Prasad e Bramorski, 1998).

A capacidade para, de forma consistente, distribuir produtos dentro das especificações determina se o fornecedor continuará a fazer negócio com o consumidor. A maneira mais adequada de atingir o objectivo de distribuir produtos dentro das especificações é fazer uso dos métodos do Controlo Estatístico da Qualidade (CEQ). O CEQ fornece um meio de atingir e manter um processo produtivo estável e capaz de cumprir as especificações.

Consegue melhorar-se um processo produtivo fazendo uma eficiente coordenação entre as especificações e o desenho do processo. Um aspecto fundamental da melhoria do processo é reconhecer que este independentemente da profundidade de monitorização, tem sempre variação. Esta variação é bem definida quando um processo está controlado estatisticamente – varia de forma aleatória sem grandes causas atribuíveis.

Uma definição moderna de qualidade constata que “a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade” (Montgomery, 2009). A redução da variabilidade resulta diretamente em custos menores. Menos reparações e menos reclamações dos consumidores significam menos retrabalho<sup>1</sup>, redução dos desperdícios de tempo, menor esforço e dinheiro despendido.

A capacidade do processo mede como o processo satisfaz as especificações. A verdadeira capacidade do processo não pode ser determinada até que as cartas de controlo  $\bar{X}$  e R tenham atingido a

<sup>1</sup> Retrabalho é utilizado nas empresas para designar aqueles trabalhos mal feitos e que têm de ser feitos novamente, refazer o trabalho - <http://br.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080218074136AAa85iQ> visitado em 10 de Setembro de 2012.

qualidade óptima de melhoria sem o recurso a um investimento significativo em equipamento novo.

Seis-Sigma é uma condição da capacidade do processo, definida como a habilidade de um processo para produzir um bom produto. Estabelece uma relação entre as especificações do produto e a variabilidade do processo, medida em termos dos índices de capacidade do processo –  $c_p$  e  $c_{pk}$ . Um processo que opere a Seis-Sigma tem um  $c_p=2$  e um  $c_{pk}=1.5$  (Kumar, 2002). Seis-Sigma é uma iniciativa que tem como objetivo o eliminar dos defeitos de qualquer produto, processo e transação. Tecnicamente o Seis-Sigma significa não ter mais de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades em qualquer processo, produto ou serviço (Hasln et al, 1999). Visto de outra maneira, um sistema é capaz de produzir 99,99966% de partes conformes. Uma parte ou item é classificada de defeituosa se a sua medição está fora do limite inferior e superior de especificação. Para além da especificação do LSE e do LIE, um valor objetivo é especificado e tipicamente corresponde ao ponto médio entre o LSE e o LIE (Montgomery, 2009).

A Motorola foi a primeira organização a usar o termo Seis-Sigma e implementou-o nos fins de 1980 para reduzir os níveis de defeitos do processo produtivo. Em 1992, reduziu os níveis de defeitos em 150 vezes (The History of Six Sigma, 2007). A Honeywell iniciou o seu programa de qualidade no início de 1990 e diz ter poupado, em 1999, mais de 600 milhões de euros (Pande et al 2003). Um estudo de Lucier e Sheshadri (2001) mostra que a *General Electric* implementou os Seis-Sigma e conseguiu melhoramentos significativos no desempenho de áreas chave de negócio. A empresa conseguiu, em três anos, poupanças na ordem dos 2 biliões de dólares após a implementação dos Seis-Sigma em 1996 (Antony e Banuelas, 2002). Relatos de Buss e Ivey (2001), de Feo e Bar-El (2002), McClusky (2000), Weiner (2004) também revelam os benefícios ganhos por empresas como a *Raytheon*, *Dow Chemical*, *DuPont*, *Texas Instruments*, *Johnson and Johnson*, *Toshiba*, *Boeing*, etc.

Muitas das histórias de sucesso sobre a implementação dos Seis-Sigma pertencem a grandes organizações, em especial, multinacionais. Muito poucas publicações referem a implementação dos Seis-Sigma nas Pequenas e Médias Empresas (PME's). Existem críticas sobre o Seis-Sigma de que exige um grande investimento e programas intensivos em recursos de que apenas as grandes empresas podem disponibilizar (Calcutti, 2001). Contudo, como as complicações associadas a uma PME, em termos de tamanho da empresa, natureza

dos projetos abraçados, construção das equipas, necessidades de formação, etc, são menores quando comparadas com uma grande organização, pode ser argumentado que a implementação dos Seis - Sigma numa PME é mais fácil deixando de lado o fator investimento. Poucos relatórios propõem fatores de sucesso, orientações, ferramentas e técnicas para implementação dos Seis -Sigma no contexto das PME's (Antony, sd; Antony et al, 2005, Wessel e Burcher, 2004).

A consciencialização pelas organizações de que a metodologia dos Seis-Sigma foi originada por um conjunto de práticas desenhadas para melhorar o processo de produção rapidamente se estendeu a diferentes áreas funcionais tais como o marketing, engenharia, compras, distribuição e suporte administrativo (Ray e Das, 2009, 2010).

A filosofia dos Seis-Sigma é uma metodologia provada de melhoramento, guiada por dados, baseada numa filosofia comum e suportada por medições e ferramentas de melhoramento do produto e do processo. De uma forma simples, consiste numa gestão por factos e não por opiniões (Nanda e Robinson, 2011).

Antony, *et al*, (2005) constataram que o Seis-Sigma fornece os executivos e gestores com a estratégia, os métodos, as ferramentas e as técnicas para mudar as suas organizações.

Magnusson, *et al* (2003) constataram que os Seis-Sigma é um processo de negócio que permite às empresas mudar de forma drástica e melhorar a sua organização base através do desenho e monitorização das atividades diárias de negócio de forma a minimizar os desperdícios e os recursos enquanto a satisfação do consumidor é aumentada em algumas das suas componentes. Franken (2007) realça que se as operações internas de uma empresa não estiverem bem estruturadas, esta empresa encontrará dificuldades para criar valor e ser altamente competitiva. Os Seis-Sigma começa por ser um foco de melhoramento das operações internas. Zucker (2007) constata que o trabalho do Seis-Sigma é normalmente feito através de equipas multifuncionais que gerem o projeto. A aproximação dos Seis-Sigma tem sido adotada por muitas empresas líderes. Os benefícios estão bem documentados para as indústrias de transformação e em crescendo nas indústrias de serviços (Wright e Basu, 2008). Wessel e Burcher (2004) argumentam que muitas das grandes organizações exigem os Seis-Sigma às suas empresas fornecedoras, que são, em regra, PMEs. Contudo a implementação da estratégia dos Seis-Sigma



exige investimento, afetação dos melhores recursos, treino dos empregados, etc, o que para muitas das PME's é impossível de obter.

O Seis-Sigma direciona os problemas de melhoramento do processo para o uso de um método estruturado em cinco etapas importantes: Definição, Medição, Análise, Melhoramento, e Controlo (Dedhina, 2005). Este método é desenvolvido por um grupo de especialistas em melhoramento consistindo de membros da gestão de topo até ao nível operativo. Aos membros são atribuídos os nomes das artes marciais baseados em competência no uso das várias ferramentas para atingir o nível de qualidade de Seis-Sigma – *Champion, Master Black Belt, Black Belt, Green Belt e Yellow (ou white) Belt* (Nanda e Robinson, 2011). Numa PME podem não existir todos estes níveis. Contudo, a devida consideração deve ser dada ao trabalhador da produção que tem “nas mãos” o envolvimento no processo de conversão.

Nas últimas duas décadas o Seis-Sigma evoluiu de uma focagem na métrica para um nível de metodologia e finalmente para o desenho e desenvolvimento de Sistemas de Gestão. Como uma métrica, quando um processo está a operar a um nível Seis-Sigma, produzirá não conformidades (defeitos ou erros) a uma taxa não mais de 3.4 defeitos por milhão de oportunidades. Como uma metodologia, o Seis-Sigma conduz a um melhoramento do processo de negócio focando a compreensão e gestão das expectativas do consumidor (Brewer e Eighme, 2005; Rudisill e Clary, 2004). Como um sistema de gestão, o Seis-Sigma é usado para assegurar que os esforços críticos de melhoramento desenvolvidos através das métricas e metodologia estão alinhados com as estratégias de negócio da empresa.

No final da década de 1990, aproximadamente dois terços das organizações “Fortune 500” tinham empreendido iniciativas de Seis-Sigma com o objetivo de reduzir custos e alcançar melhoramentos.

O objetivo básico deste estudo é explorar os benefícios da implementação da estratégia dos Seis-Sigma numa PME Portuguesa, a NutriSoil, que se debate com problemas de competitividade, em especial devido aos elevados custos de produção.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Índices de Capacidade $c_p$ e $c_{pk}$ e Seis Sigma

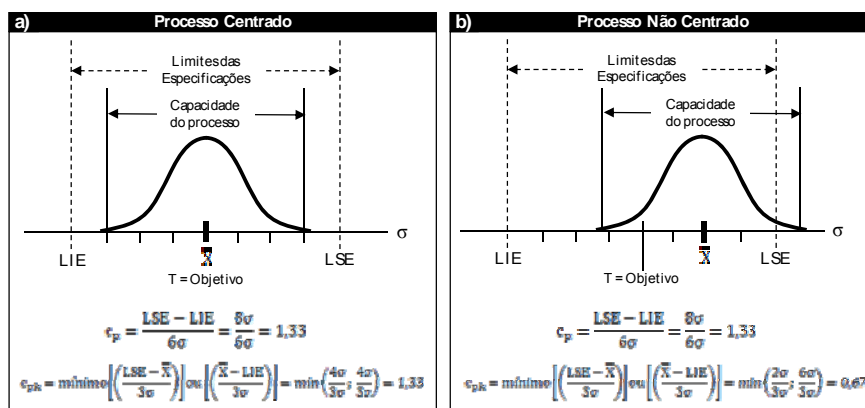
Os índices de capacidade  $c_p$  e  $c_{pk}$  representam os intervalos em que a variação natural de um processo ocorre, determinada por causas comuns. Também representam a habilidade de combinar as pessoas, máquinas, métodos, materiais e medições para produzir um produto que, de forma consistente, satisfaça os requerimentos ou as expectativas do consumidor.

Contudo um alto valor de  $c_p$  não garante que um processo produtivo esteja dentro dos limites das especificações pois o valor de  $c_p$  não implica que o estado atual do processo coincida com a dispersão permitida, isto é com os limites de especificação.

A capacidade potencial de um processo é medida pelo índice de capacidade  $c_p$  calculado como o rácio da largura das especificações pela largura da variabilidade do processo (cf. Equação 1)

Idealmente o índice  $c_p$  deve ser tão grande quanto o possível. Quanto maior for o  $c_p$  menor é a variabilidade em relação aos limites das especificações.

O  $c_p$  é uma medida da capacidade do processo valiosa. Contudo, tem um defeito: assume que a média do processo está centrada no intervalo das especificações (Figura 1a). De facto, nem sempre assim é (Figura 1b).



**Figura 1 – Processo centrado e não centrado**

Muito embora o índice  $c_p$  apresente o mesmo valor na Figura 1a) e 1b) facilmente se reconhece que estamos perante duas situações totalmente distintas.

O problema demonstrado na Figura 1 não é raro. Por isso, outra medida, o índice  $c_{pk}$  (cf. Equação 2) é usada mais frequentemente para aferir a capacidade do processo.

O índice  $c_{pk}$  toma em linha de conta o nível de risco aceitável, a variação do produto e dá uma visão rápida do desempenho do processo. Mede a capacidade atual do processo. Esta medida entra em linha de consideração com o posicionamento da média do processo.

No caso referenciado na Figura 1a), como o processo está centrado, os índices  $c_p$  e  $c_{pk}$ , são iguais a 1,33 o que indica que o processo é potencialmente capaz e no momento atual está a ter um desempenho satisfatório: 63,34 em cada milhão de produtos são defeituosos. No caso referenciado na Figura 1b), muito embora o processo seja potencialmente capaz, o índice  $c_p$  também é igual a 1,33, mas o índice  $c_{pk}$  é igual a 0,67 o que indica que o processo, no momento atual, está a ter um desempenho pobre, ou seja em cada 100 produtos produzidos 2,27 (22750,13 em cada milhão) são defeituosos.

Quando o processo está centrado estas duas medidas da capacidade do processo conduzem aos mesmos resultados. Por convenção, quando o  $c_{pk}$  é menor do que um, o processo é referido como não aceitável. Um valor de  $c_{pk}$  de 1,33 ou maior é considerado o benchmarking da indústria. Isto significa que o processo está contido dentro de quatro desvios padrões das especificações do processo.

Se compararmos o rendimento atual do processo  $c_p$ , com o rendimento potencial  $c_{pk}$ , detetamos qual é a oportunidade de melhoramento que existe no processo. A Tabela 1 ilustra as taxas de defeito associadas com diferentes níveis de capacidade de um processo centrado. Reduzindo a variação do processo, o fornecedor aumenta a sua capacidade de satisfazer as especificações e consequentemente reduzir a quantidade dos produtos que não cumprem as especificações.

**Tabela 1 – Índice prático da capacidade do processo**

$c_{pk}$	Nível do sigma ( $\sigma$ )	DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades	Custo da Qualidade (% das vendas)	Benchmark
2,00	6	3,4	<10	Classe Mundial
1,67	5	233	10-15	
1,33	4	6210	15-20	Média da Indústria
1,00	3	66807	20-30	
0,67	2	308537	30-40	Não competitiva
0,33	1	690000		

Fonte: Mike (1998)

Um  $c_{pk}$  de 1,33, tal como o caso da Figura 1a), equivale a produzir aproximadamente 63 produtos defeituosos por milhão de produtos produzidos. Este processo é chamado de processo Quatro Sigma.

Como a capacidade do processo é uma função das especificações, então o Índice de Capacidade do Processo é tão bom quanto as especificações. Antony (2008) recomenda os seguintes valores para os índices  $c_p$  e  $c_{pk}$  para diferentes estádios de um processo centrado (Tabela 2):

**Tabela 2 – Recomendações mínimas para os índices  $c_p$  e  $c_{pk}$** 

Situação	Recomendações Mínimas para os índices $c_p$ e $c_{pk}$ de um processo centrado e para especificações dos dois lados
Processo Existente	1,33
Processo Novo	1,50
Parâmetro de Segurança ou crítico para um processo existente	1,50
Parâmetro de Segurança ou crítico para um processo novo	1,67
Processo de Qualidade - <i>Seis Sigma</i>	2,00

Fonte: Anthony (2008)

Deve notar-se que embora um processo produza uma característica de qualidade com um índice de capacidade maior do que 2,5, a desnecessária precisão torna-o muito caro.

A capacidade do processo deve ser reavaliada periodicamente para assegurar que a média do processo não mudou e de que a

variação do processo não aumentou. A recomendação mínima de reavaliação é de seis meses.

Um processo qualificado de Seis-Sigma, é um processo que permite mais ou menos seis desvios padrões dentro dos limites de especificações o que equivale a dizer que em cada milhão de produtos produzidos, apenas 3,4 produtos são defeituosos.

Para se atingir este objetivo a doutrina Seis-Sigma preconiza que:

- Um esforço contínuo, para atingir resultados estáveis e previsíveis de um processo (redução da variação do processo), é de vital importância para o sucesso de um negócio;
- Os processos de produção e negócio tenham características que possam ser medidas, analisadas, melhoradas e controladas;
- O alcançar de melhorias de qualidade sustentáveis requer empenhamento de toda a organização, particularmente da gestão de topo.

A empresa NutriSoil implementou uma versão simplificada da estratégia dos Seis-Sigma, para prosseguir o objetivo de redução de custos vital à sua sobrevivência.

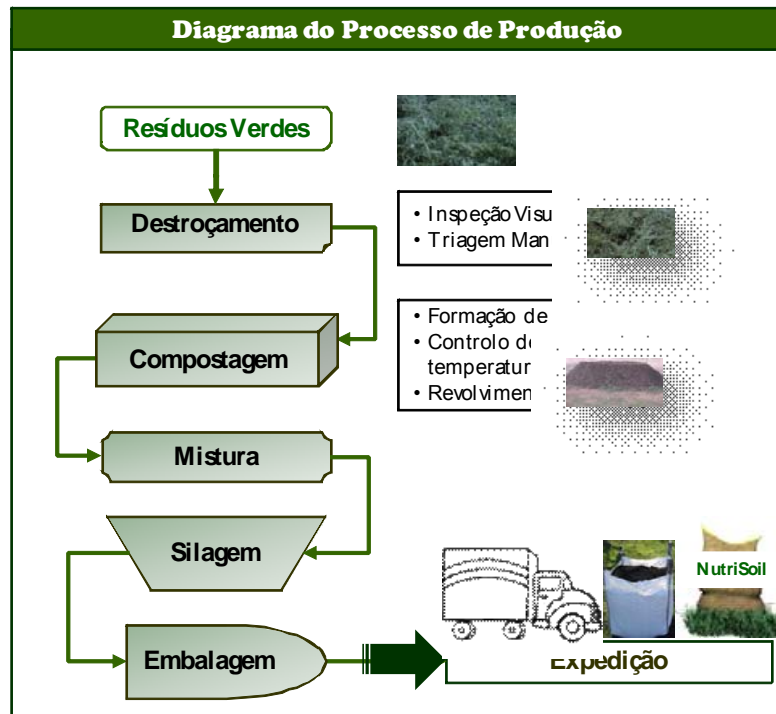
## 2.2. Caso Prático - Empresa NutriSoil

O nome da empresa NutriSoil é fictício para preservar informação industrial de âmbito sigiloso, porém o caso é real.

A NutriSoil é uma empresa que produz e comercializa fertilizante orgânico, a granel, em sacos de alças de 500 e 1000kgs (big bags) e em sacos de plástico de 20kgs. Todos os sacos têm uma etiqueta, contendo: fórmula, lote, data e demais informações do fabricante.

Esta PME foi criada em 2005, emprega 32 trabalhadores, e está empenhada em desenvolver e produzir vários tipos de produtos denominados fertilizantes. Os principais clientes da NutriSoil são as grandes superfícies e outras lojas vocacionadas para a agricultura e jardinagem. A empresa produz anualmente 40.000 mil toneladas de fertilizante. As questões sócio ambientais são de extrema importância para a NutriSoil pelo que, o envolvimento da empresa com o meio ambiente é uma preocupação constante.

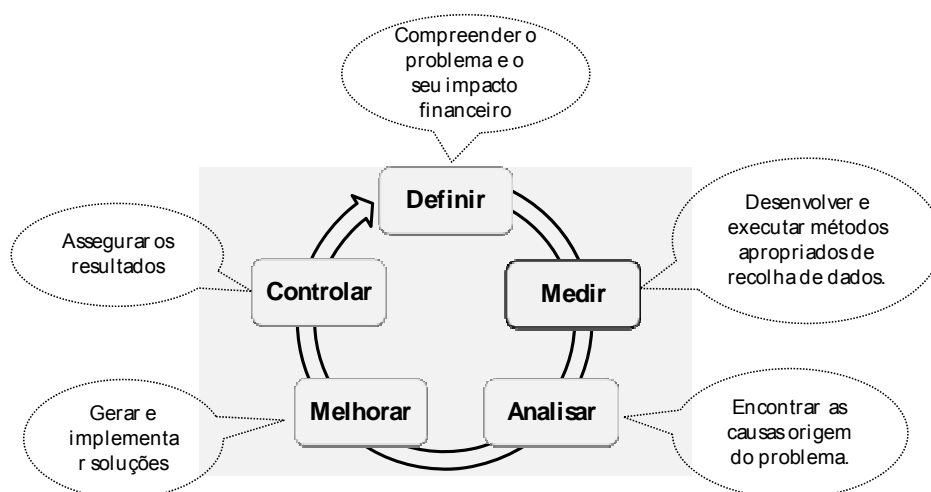
O processo produtivo da NutriSoil é apresentado, de forma resumida, na Figura 2.



**Figura 2 – Diagrama do Processo de Produção da NutriSoil**

Toda a matéria-prima provem de fornecedores nacionais e chega a granel à NutriSoil por meio rodoviário. É trucidada por um destroçador e encaminhada para a compostagem. A seguir procede-se à mistura de nutrientes e outros suplementos e o fertilizante vai para a silagem onde é armazenado. Posteriormente efetua-se a pesagem e a formulação é encaminhada para as ensacadeiras onde é embalada.

A NutriSoil opera num mercado altamente competitivo, em que o fator preço de custo é determinante. No sentido de melhorar a competitividade, a NutriSoil adotou uma versão simplificada do processo Seis-Sigma (Figura 3) numa tentativa de diminuir os custos de produção.



**Figura 3 – Processo Seis-Sigma adotado pela NutriSoil**

Este esboço foi desenvolvido, depois de reuniões com o dono da empresa, com os gestores de topo e o de nível intermédio sendo que os operadores foram cuidadosamente considerados na definição de todos os procedimentos.

### Definir

Foi criada uma equipa formada por operadores, pelo engenheiro da produção, da qualidade, do departamento de marketing e o dono da empresa. Esta equipa despendeu muitas horas na zona de produção para recolher dados e perceber o modo de produção e embalamento dos sacos de fertilizante. Os membros da equipa foram incentivados a identificar as características vitais do processo produtivo baseadas na “voz do consumidor”.

### Medir

De forma a determinar os defeitos que ocorriam em cada fase da produção, a equipa foi separada em pequenos grupos para identificar os procedimentos vitais de cada fase do processo produtivo. Uma sessão de brainstorming foi conduzida para formular o plano de recolha de dados. Os dados dos produtos defeituosos foram recolhidos, para medir o desempenho corrente, em cada uma das estações de trabalho e analisados. Antes da recolha dos dados foi decidido validar o sistema de medição, ou seja estudar a contribuição do sistema de medição para a variação na forma de repetibilidade (o mesmo produto medido repetidamente pelo mesmo instrumento) e de

reprodutibilidade presente no processo (o mesmo produto medido por operadores diferentes).

### **Analisar**

Na análise de causas dos defeitos foi feita uma classificação dos defeitos e a respetiva contribuição para os defeitos totais: usou-se o Diagrama de Pareto para determinar a importância das causas e o diagrama de Causa e Efeito para detetar as causas de variação. Cartas de controlo para a média ( $\bar{X}$ ) e para a amplitude (R) foram usadas para determinar as causas atribuíveis de variação.

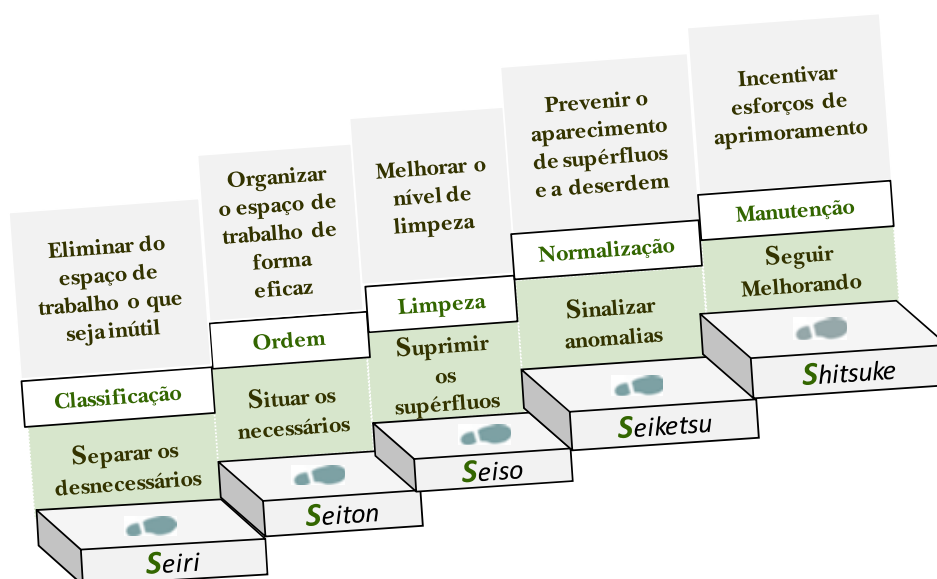
### **Melhorar**

De forma gradual e sistemática foi implementado um programa de organização e standardização do local de trabalho, 5S (Figura 4), tendo em vista aumentar a segurança e a eficiência do trabalho e da produtividade.

Os propósitos da metodologia 5S são de melhorar a eficiência através da destinação adequada de materiais (separar o que é necessário do desnecessário), organização, limpeza e identificação de materiais e espaços, e a manutenção e melhoria do próprio 5S.

Esta metodologia permite desenvolver um planeamento sistemático de classificação, de ordem e de limpeza, permitindo assim, de imediato, maior produtividade, segurança, clima organizacional e motivação dos funcionários, com a consequente melhoria da competitividade organizacional.





**Figura 4 – Metodologia 5S**  
**Fonte: Adaptado de Coutinho (2006)**

Foi também implementado um programa de manutenção dos edifícios e dos equipamentos, Manutenção Total Produtiva (MTP). O objetivo deste programa é aumentar a produção e ao mesmo tempo aumentar a moral e a satisfação dos trabalhadores. A manutenção deixou de ser vista como uma atividade não lucrativa e os períodos de paragem para executar a manutenção passaram a ser agendados como parte da produção diária. O objetivo é manter a manutenção de emergência e a não planeada num nível mínimo.

### Controlar

Foram formadas equipas para discutir os problemas de produção suscetíveis de causar erros, defeitos e falhas. Também foi usada a análise das reclamações dos clientes para identificar potenciais problemas.

Foi implementada a criação de cartas de controlo do processo de produção de forma a manter os empregados conscientes do desempenho do seu processo em tempo real:

- Carta p: para controlo da evolução da fração de sacos de 20kgs defeituosos;
- Carta c: para medir a evolução do número de defeitos por saco de 20kgs produzido.

Um programa de formação foi articulado, em cada uma das fases de produção, para colmatar as falhas encontradas.

A fim de se comparar o desempenho do processo produtivo, antes e depois da introdução da estratégia Seis-Sigma, reportado pelos produtos defeituosos de todo o processo produtivo utilizou-se o seguinte indicador (cf. Equação 3)

$$\% \text{ de Sacos Defeitos} = \frac{\text{Número de sacos defeituosos}}{\text{Número de sacos processados}} \times 100 \quad (3)$$

Outra medida utilizada para aferir da evolução do processo de produção no geral foi a Taxa de Defeitos por Unidade (TDU) (crf. Equação 4)

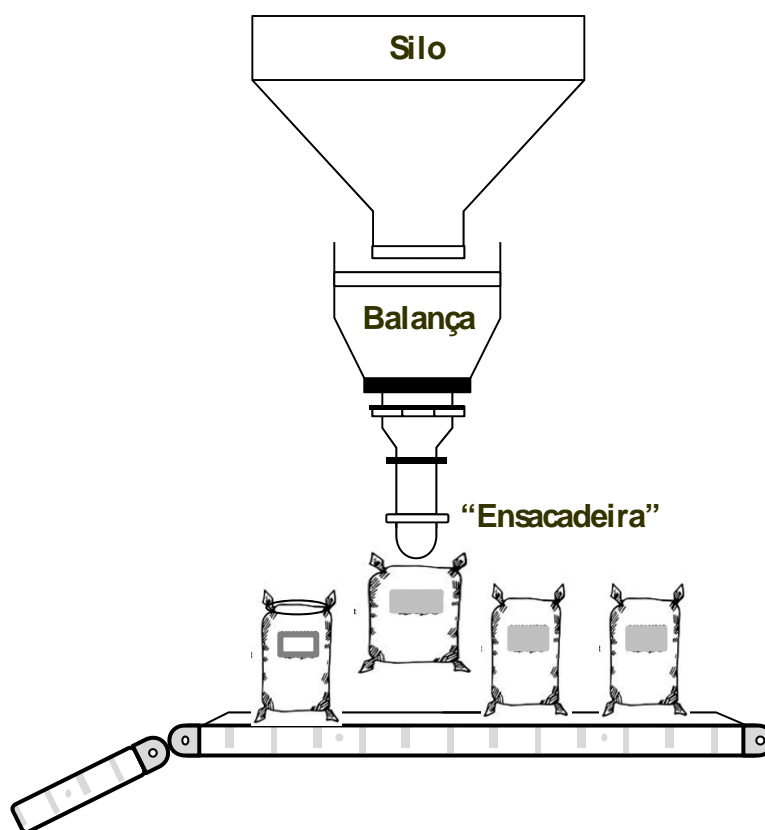
$$\text{NDU} = \frac{\text{Número total de defeitos encontrados nos sacos de 20kgs}}{\text{Número de sacos processados}} \quad (4)$$

Nesta fase de introdução da estratégia dos Seis-Sigma, mereceu, desde logo, especial atenção o processo de embalagem dos sacos de fertilizante de 20kgs, em especial os vendidos em centros comerciais com elevadas exigências de qualidade. Foi confirmado que, para evitar o não cumprimento da especificação de 20kgs com uma variação mínima tolerável de 2%, havia necessidade de adicionar aos sacos fertilizante suplementar, para respeitar o peso desta especificação mínima, o que constituía um custo significativo.

Uma análise ABC revelou que o processo de embalagem dos sacos de fertilizante de 20kgs, dado que representam 50% das vendas, e além disso destinam-se a um mercado extremamente exigente em termos de controlo de qualidade, merecia uma atenção prioritária, já que existiam oportunidades de melhoria que podiam contribuir de forma significativa para incrementar a vantagem competitiva da NutriSoil e aumentar a sua rentabilidade.

### 2.3. Processo de Embalagem – Antes da Introdução do Processo Seis-Sigma

O processo de embalagem (Figura 5) é composto por duas ensacadeiras e ensaca anualmente 1008000 sacos (uma média de 3360 sacos diariamente) de fertilizante em sacos de plástico de 20 quilos, que são vendidos no mercado por 15 euros. O problema detetado, e que urge uma atuação imediata, é que para cumprir com a especificação mínima a NutriSoil está a encher os sacos com uma média de 20,93kgs o que equivale a um desperdício anual de 699693,67 euros ou seja 46646 sacos são desaproveitados. 90,74% de todos os sacos produzidos têm um excesso de peso. Contudo, é constatação geral que para a empresa se manter concorrencial e lucrativa deve ser minimizado o sobre enchimento.



**Figura 5 – Processo de Pesagem e Embalagem dos sacos de 20kgs**

As especificações são impostas por normativo legal, pelo que os sacos têm de conter, no mínimo, mais de 19,600kgs de fertilizante. Sacos que não cumpram o limite mínimo das especificações são novamente inseridos no processo produtivo, para reproprocessamento, acarretando um custo unitário médio de 2 euros. Além disso, sacos encontrados no mercado, com peso inferior à especificação mínima, estão sujeitos a pesadas multas. 2,88% dos sacos, ou seja 29071,72 sacos eram embalados com um peso inferior à especificação mínima, o que correspondia a um custo de reproprocessamento de 58143,44 euros.

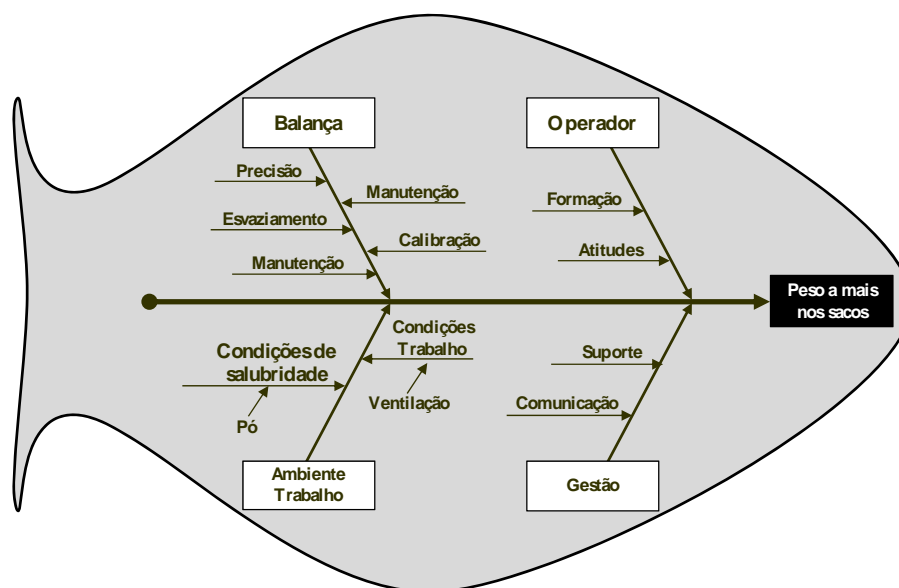
Para monitorizar o andamento do processo e calcular os índices de capacidade  $c_p$  e  $c_{pk}$ , para o peso dos sacos de 20kgs, foram implementadas cartas de controlo, para a média ( $\bar{X}$ ) e para a amplitude (R) e apostas junto das ensacadeiras. De forma aleatória, de hora a hora, quatro sacos embalados são inspecionados e é registado o respetivo peso. Se mais de dois sacos exibirem peso inferior ao limite da especificação mínima todos os sacos produzidos desde a última aceitação são retidos e são tomadas ações corretivas se necessário.

Além disso, um operário, de forma atenta, monitoriza a passagem dos sacos na correia transportadora e, de tempos em tempos, retira um saco com peso a menos, rasgado ou mal selado e arremete-o para um monte a fim de ser reproprocessado.

Na fase de início do estudo o processo revelou estar estabilizado mas a variabilidade presente era incapaz de satisfazer as especificações.

O cliente, por norma, recebe mais fertilizante mas nunca menos. Este excesso de peso é desnecessariamente caro. O problema foi identificado e formada uma equipa multifacetada: serviços técnicos, operadores fabris, pessoal da qualidade. A investigação revelou que a máquina de enchimento precisava de melhoramentos e revelou-se pertinente desenvolver um programa de formação para os trabalhadores. A equipa trabalhou muito próximo dos operadores para conseguir uma redução na variação do processo com o consequente melhoramento.

No sentido de encontrar as causas associadas com a elevada variação dos pesos dos sacos foi utilizado o diagrama de causa e efeito (Figura 6).



**Figura 6 – Diagrama de Causa-e-Efeito do processo de pesagem e embalagem dos sacos de 20kgs.**

O proprietário da NutriSoil, embora consciente que um investimento significativo em pessoas, tecnologia e inovação, lhe permitirá reduzir os custos, não pode, por motivos financeiros, no momento presente, optar por uma estratégia deste tipo, pelo que lhe resta utilizar de forma mais eficiente os meios produtivos disponíveis.

### 3. RESULTADOS

O quadro 3 sintetiza os resultados dos indicadores usados para avaliar o impacto das ações tomadas aquando da aplicação da estratégia dos Seis-Sigma.

**Quadro 3 – Métricas usadas**

Métricas Chave Usadas	Antes da	Depois da	Melhoramento (%)
	Introdução dos Seis Sigma	Introdução dos Seis Sigma	
% de Sacos defeituosos produzidos	4,50	2,17	51,77
NDU – Taxa de defeitos por saco	4,24	2,12	50,00
$c_{pk}$ - Capacidade do Processo	0,63	1,02	61,90

Média do Processo (Kgs)	20,93	20,05	4,20
Desvio Padrão do Processo (Kgs)	0,70	0,15	78,90
% de sacos com peso superior a 20 kgs	0,907	0,6337	30,20
% de sacos com peso inferior à especificação mínima – 19,60 kgs	0,0288	0,0011	96,10
Sacos Perdidos por Ano – peso a mais	46646,24	2542,88	94,50
Custo em (€) do peso a mais – sacos de 20 Kgs	699693,67	38143,16	94,50
Sacos com peso a menos – ano	29071,72	1142,82	96,10
Custo em (€) do peso a menos – sacos de 19,60 kgs	58143,44	2285,65	96,10
% do tempo de paragem das máquinas	5%	3%	40,00
% de Acidentes de Trabalho	1%	0,2%	80,00

As cartas de controlo para a média ( $\bar{X}$ ) e para a amplitude (R), do peso dos sacos de 20kgs, são apresentadas na Figura 7, antes da estratégia dos Seis-Sigma.

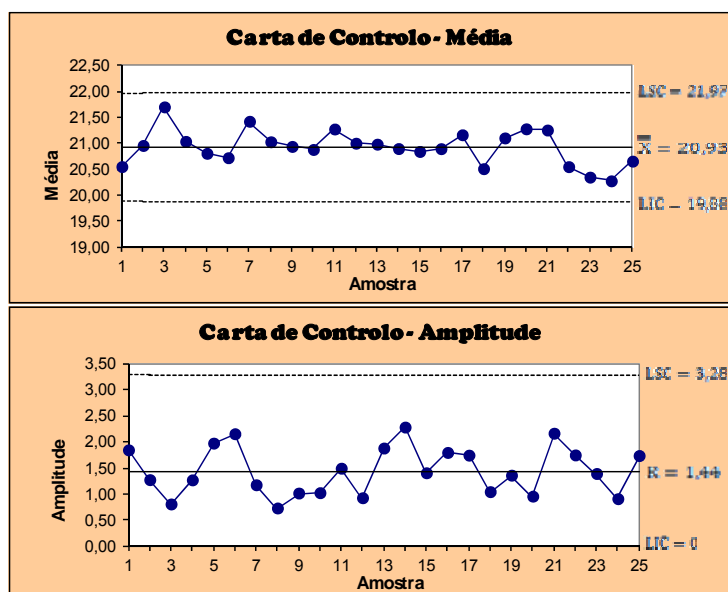


Figura 7 – Carta para a média e amplitude antes da introdução dos Seis-Sigma

A figura 8 apresenta as cartas de controlo para a média ( $\bar{X}$ ) e para a amplitude (R), do peso dos sacos de 20 kgs, depois da introdução da estratégia dos Seis-Sigma.

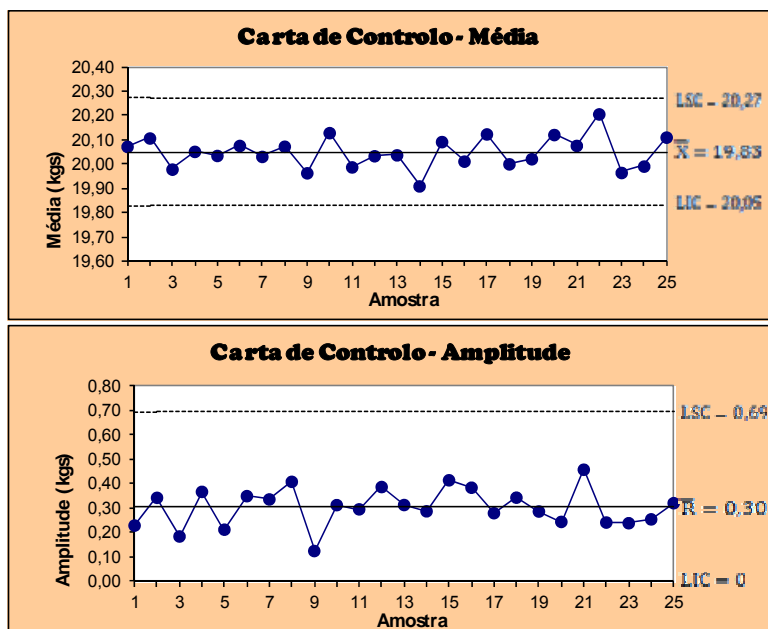
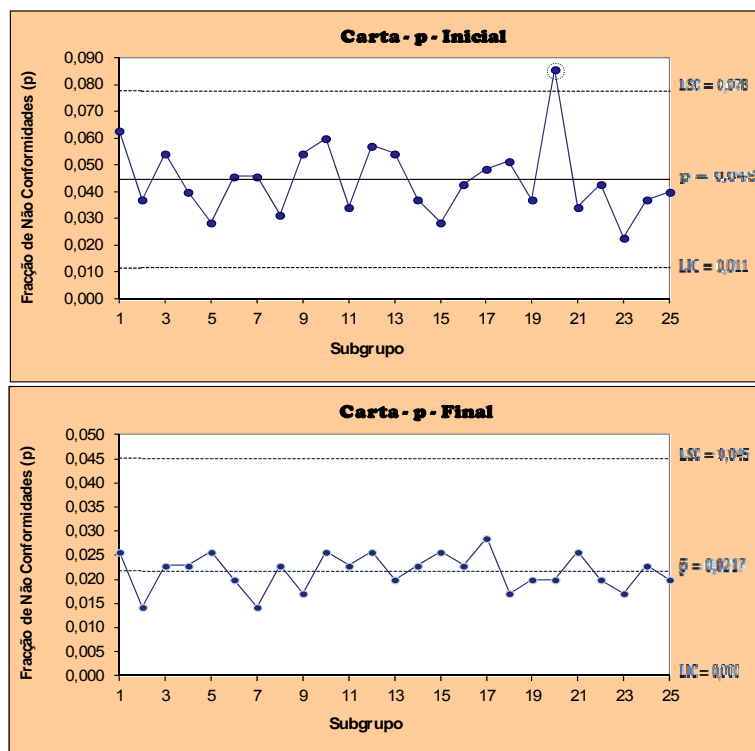


Figura 8 – Carta para a média e amplitude ao fim de um ano da introdução dos Seis-Sigma

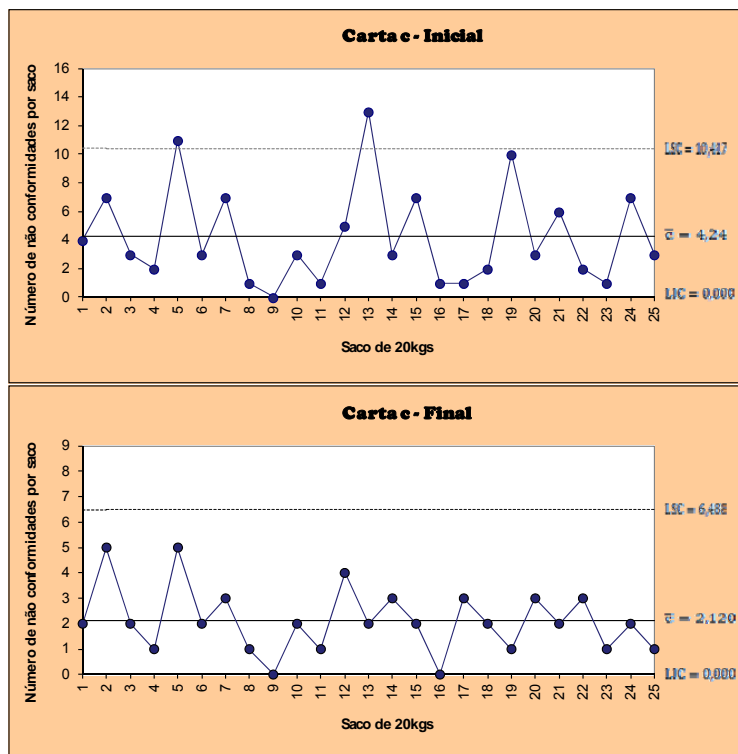
A figura 9 apresenta a carta de controlo  $p$ , para a fração de sacos de 20kgs defeituosos produzidos, para o período de um ano de vigência da estratégia do Seis-Sigma.



**Figura 9 – Carta  $p$  no início e no fim de um ano de introdução da estratégia de Seis-Sigma**



A figura 10 apresenta a carta de controlo  $\bar{c}$ , usada para monitorizar a evolução do número total de defeitos por saco de 20kgs para o período de um ano de vigência da estratégia do Seis-Sigma.



**Figura 10 – Carta  $\bar{c}$  no início e no fim de um ano de introdução da estratégia de Seis-Sigma**

#### 4. DISCUSSÃO

É comumente aceite que a aplicação da estratégia dos Seis-Sigma, durante o ano, criou, acima de tudo, uma mudança na cultura organizacional da NutriSoil. Hoje, na NutriSoil percebe-se um maior sentimento de participação, empenhamento e consciencialização da importância de se trabalhar com o intuito de exceder as exigências do consumidor.

A participação e o empenhamento de todos os colaboradores facilitaram a implementação da estratégia dos Seis-Sigma quer a nível

do processo produtivo quer na redução dos defeitos que ocorrem no produto final.

A nível económico, a NutriSoil, conseguiu poupanças significativas que lhe permitiram melhorar a sua posição competitiva no mercado:

- A implementação do Controlo Estatístico da Qualidade permitiu à empresa NutriSoil diminuir a variação do peso dos sacos de 0,70kgs para 0,15kgs ou seja uma diminuição de 78,9%. As cartas de controlo para a média ( $\bar{X}$ ) e para a amplitude (R), introduzidas no processo de embalagem, ajudaram na determinação e correção das causas anormais de variação e no melhoramento deste processo. Em especial as balanças e as ensacadeiras foram objeto de melhorias significativas.
- O peso médio dos sacos passou de 20,93 para 20,05kgs, o que equivale a uma poupança anual de 661550,51 euros. Com o sobre enchimento são desperdiçados agora 2542,88 sacos contra os iniciais 46646,44.
- Houve uma melhoria na ordem dos 96,1% dos sacos com peso a menos o que resultou numa poupança de 55857,79 euros em custos de reprocessamento e numa diminuição da probabilidade de pagamento de multas. Apenas 1,13 sacos em cada mil têm um peso inferior ao referido nas especificações contra os 28,84 iniciais.
- O índice  $c_{pk}$  passou de 0,63 para 1,02 o que corresponde a um melhoramento de 60,8%. Contudo, a NutriSoil continua a perseguir atingir o benchmarking de Classe Mundial.
- A implementação do programa de manutenção dos edifícios e do equipamento - Manutenção Total Produtiva (MTP) revelou-se determinante no aumento da produtividade e ao mesmo tempo no aumento da moral dos empregados e da sua satisfação no posto de trabalho. O tempo de paragem das máquinas por avaria diminuiu de 5% para 3%, em especial devido a uma manutenção preventiva devidamente programada.
- A aposição das cartas de controlo p em cada estágio do processo de produção, de forma a manter os empregados conscientes do desempenho do seu processo em tempo real, afigurou-se determinante no melhoramento da fração de sacos defeituosos produzidos de 51,34% .

- O uso da carta de controlo c ajudou na redução do número de defeitos por saco de 4,24 defeitos 2,12 ou seja um melhoramento de 50%.
- O programa de organização e standardização do local de trabalho, 5S, permitiu o arranjo do local de trabalho, em especial a arrumação, resultando numa diminuição de 80% dos acidentes de trabalhos materializados na diminuição do absentismo e no aumento da moral do trabalhador.

Na implementação da estratégia do Seis-Sigma foram vivenciadas situações que fornecem lições valiosas aquando da promoção de novos projetos:

- A gestão sentiu que investir em qualidade significa aumentar o custo de produção, o que é difícil de suportar dada a competição feroz existente nesta área. Esta barreira foi superada demonstrando ao dono da NutriSoil as poupanças conseguidas;
- A gestão ficou convencida da poupança gerada se os acidentes produtivos forem evitados “fazer bem à primeira vez” e como um bom arrumo das instalações pode reduzir o tempo morto das máquinas e dos operadores;
- De uma forma geral foi denotada uma resistência ativa à mudança, atenuada por um plano de formação que incluiu todos os colaboradores da NutriSoil;
- Foi desenvolvida uma campanha efetiva de comunicação, que permitiu aliviar a ansiedade da mudança e minimizar a resistência a essa mudança. A comunicação começou com uma explicação do que é a estratégia do Seis-Sigma; o porquê de a empresa a estar a adotar; benefícios antecipados da implementação dos Seis-Sigma; dissipação do medo explicando o plano de desenvolvimento, como os empregados eram afetados e qual o treino e suporte disponível.
- A comunicação do plano de formação, calendarização da formação e reporte da avaliação da formação bem como os benefícios da implementação do projeto revelaram-se altamente motivadores:
- Publicamente foram reconhecidos e comemorados os melhoramentos conseguidos no sentido de manter e fortalecer o empenhamento nos Seis-Sigma.

Fruto dos progressos conseguidos a empresa NutriSoil está a lançar o processo de certificação baseado na norma ISO 9001:2008 e fazendo jus ao respeito pelo ambiente pretende, no curto médio prazo, obter a certificação ambiental ISO 14001 – Certificação Ambiental.

A introdução da estratégia Seis-Sigma na NutriSoil resultou numa poupança considerável o que permitiu melhorar a sua vantagem competitiva. Só no processo de embalagem dos sacos de 20kgs conseguiu-se uma poupança anual na ordem dos 7717408,31 euros, que corresponde a 4,74% do valor das vendas deste tipo de produto.

## 5. CONCLUSÕES

A variação no processo de produção conduz a defeitos de qualidade e a uma falta de consistência do produto final. As ferramentas do controlo estatístico da qualidade permitem-nos identificar problemas de qualidade durante o processo produtivo.

Um aspeto crítico do controlo estatístico da qualidade é avaliar a capacidade de um processo de produção, satisfazer ou exceder as especificações pré-estabelecidas – chamadas de capacidade do processo.

A NutriSoil, após a introdução da estratégia dos Seis-Sigma, assente no controlo estatístico da qualidade e participação de todos, incrementou a sua posição concorrencial no mercado devido à poupança de custos conseguida. O índice de capacidade do processo  $C_{pk}$  sofreu uma melhoria significativa tendo a NutriSoil evoluído do benchmarking de empresa “não competitiva” para a “média da indústria”.

Acima de tudo percebe-se uma mudança na cultural organizacional da NutriSoil, suportada na “voz do consumidor” e na adoção das melhores práticas, o que lhe permite encarar o futuro com mais otimismo.

## BIBLIOGRAFIA

- The History of Six Sigma, <http://europe.i-sixsigma.com/library/content/c020815a.asp>; visitado em 12 de Maio de 2012;
- Antony, Jiju (2008). Pros and cons of Six-Sigma: an academic perspective. <http://web.archive.org/web/20080723015058>; visitado em 23 Julho de 20012;
- Antony, J. Assessing the status of Six Sigma Implementation in the UK manufacturing small and medium-sized enterprises. <http://www.gcal.uc.uk/>, visitado em 12/12 de 2011;
- Antony, J and Banuelas, R (2002). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, 6 (4): 20-27;
- Antony, J, Kumar, M Madu, C N (2005). Six Sigma in small and Medium sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22(8), 860-874;
- Buss, P and Ivey N (2001). Dow chemical design for Six Sigma rail delivery project. In *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 1248-1251;
- Bothe, D R (1992). A Capability study for an entire produ ct. *ASQC Quality Congress Transactions*; 172-178;
- Boyles, R A (1991). The Taguchi capacity index. *Journal of Quality Technology* 23, 17-26;
- Brewer, P and Eighme, J (2005). Using Six Sigma to improve the finance function. *The Journal of Finance*, 87 (7), 27-33;
- Calcutti, T (2001). Why is Six Sigma so successful? *Journal of Applied Statistics*, 28 (3/4): 301-306;
- Coutinho, António (2006). Técnicas de melhoria 5S's – O que são? Quando se Utiliza e Principais Benefícios. São Paulo: L Teixeira & Melo, Ltda.
- Chen, K S, Pearn W L, Lin P C (2003). Capability measures for process with multiple characteristics. *Quality and Reliability Engineering International* 19; 101-110;
- De Feo, J and Bar-El, Z (2002). Creating strategic change more efficiently with a new design for six sigma process. *Journal of Change Management*, 3 (1): 60-80;
- Dedhia, N S (2005). Six Sigma Basics. *Total Quality Management*, vol 16, nº 5, pp576-574;
- Deleryd, M (1999). A pragmatic view on process capability studies. *International Journal of Production Economics* 58; 319-330;
- Franken, B (2007). How to Explain Six Sigma by Using the Profit Triangle. from [www.iSixSigma.com/library/content/](http://www.iSixSigma.com/library/content/) visitado em 20 Maio de 2012;
- Gunter, B H (1989). The use and abuse of  $c_{pk}$ . *Quality Progress: Statistical Corner*, January; 72-73;
- Hashn, G J, Hill, W J, Hoert R W and Zinkgraf S A (1999). The Impact of Six-Sigma Improvement: A Glimpse in the Future of Statistics. *The American Statistician*, vol 53, nº 3, pp208-215;
- Hsu, Y C, Pearn W L, Wu, P C (2008). Capability adjustment for gamma processes with mean shift consideration in implementing Six Sigma Program. *European Journal of Operations Research* 191; 517-529;
- Kan, V E (1986). Process capability indexes. *Journal of Quality Technology*, 24; 188-195;
- Kumar, P (2002). Six Sigma in Manufacturing, *Productivity*, vol 43, Nº 2, July-September, pp196-202;
- Juran, J M (1974). *Quality Control Handbook*, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York;
- Lucier, G and Seshadri S (2001). GE takes Six Sigma beyond the bottom line. *Strategic Finance*, 82 (11): 101-104.
- McClusky R (2000). The rise, fall, and revival of six-sigma. *Measuring Business Excellence*, 4 (2): 6-17;

- Mike, J Harry (1998). Six Sigma: A breakthrough Strategy for Profitability, Quality Progress, May;
- Magnusson, K, Kroslid, D & Bergman, B (2003). Six Sigma – The Pragmatic Approach, Scandinavia: Lund Studenlitteratur;
- Montgomery D(2009). Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons (Asia), Pte, Ltd;
- Nanda, Vic & Robinson, Jeffrey (2011). Six Sigma, McGraw Hill Companies;
- Pande, P, Neuman, R & Cavanagh, R (2003). The Six Sigma Way – How GE, Motorola & Other Top Companies are Honing Their Performance. Tata McGraw-Hill, New Delhi;
- Prasad S, Bramorski, T (1998). Robust process capability indices, Omega, International Journal of Management Science 26(3), 425-435;
- Pearn, W L, Wu, C W (2006). Production quality and yield assurance for processes with multiple independent characteristics. European Journal of Operations Research 173; 637-647;
- Ray, S and Das, P (2009). Improving efficiency and effectiveness of APQP process by using DFSS tolls. International Journal of Six-Sigma and Competitive Advantage, 5 (3), 222-236;
- Ray, S and Das, P (2010). Six-Sigma Project Selection Methodology. International Journal of Six-Sigma and Competitive Advantage , 1 (4), 293-309;
- Rudissil, F & Clary, D (2004). The management accountant's role in Six Sigma. Strategic Finance, 85 (5), 35-39;
- Rodriguez, R N (1992). Recent developments in the process capability analysis, Journal of Quality Technology 24(4); 176-187;
- Stewart, R A and Spencer, C A (2006). Six Sigma a strategy for process improvement on construction projects: a case study. Construction Management and Economics, 24 (April), 523-531;
- Weiner, M (2004). Six Sigma. Communications World, 21 (1): 26-29;
- Wessel, G and Burcher, P (2004). Six Sigma for small and medium-sized enterprises. Communication World, 21 (1): 26-29;
- Wright, J N & Basu, R (2008). Project management and Six-Sigma: obtaining a fit. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage 4 (1), 81-94;
- Wu, C W, Pearn W L, Kotz S (2009). An overview of theory and practice on process capacity indices for quality assurance, International Journal of Production Economics, 117; 338-359;
- Wu, C W (2008). Assessing process capability based on Bayesian approach with samples. European Journal of Operations Research, 184; 207-228;
- Zucker, D (2007). Integrating Project Management into Six Sigma System., from [http://www.isixsigma.com/library/conten\\_visitado](http://www.isixsigma.com/library/conten_visitado) em Agosto de 2 011.